

*Original Paper*

## Transition from Make-to-order to Make-to-stock in a Production-Sales System

Toshitake KOHMURA,<sup>1</sup> Masaki IIJIMA,<sup>2</sup> Kazunobu FUKUSHIMA<sup>1</sup>  
and Masamitsu KIUCHI<sup>1</sup>

### Abstract

At retail stores, it is a common practice to maintain some inventory so that products can be sold to customers. If demand is more than expected and the inventory is insufficient, the retail store will ask the manufacturing plant to supply additional stock. Since it takes a certain lead time to deliver the additional inventory, it is necessary to make the customers wait for this length of time. The yield parameter is defined as the percentage of customers willing to wait. A newly developed product that is introduced to the market is in high demand for a short time. When the product fully prevails over market, demand for the product falls. Thus, the yield parameter of customers willing to wait for the product decreases throughout the lifecycle of the product. Applying the two parameters of stock cost and the willingness of customers to wait for a certain lead time, the production-sales profit is formulated based on the condition that the product demand in a unit period fluctuates in a probability distribution. Using the production-sales profit model, a transition from make-to-order to make-to-stock system is analyzed.

**Key words:** transition from make-to-order to make-to-stock, production-sales system, yield parameter of customers

---

<sup>1</sup> Department of Business Administration, Josai University

<sup>2</sup> Department of Management, Aichi-Gakuin University

Received: September 15, 2009

Accepted: May 24, 2010

## 生産販売方式の Make-to-Order 型から Make-to-Stock 型への転移

香村俊武<sup>1</sup>, 飯島正樹<sup>2</sup>, 福島和伸<sup>1</sup>, 木内正光<sup>1</sup>

ある製品が市場で発売された後、評判を得て次第に需要が高まる。その製品が市場に行き渡ると、次第に新鮮さを失って、需要が小さくなる。一つの製品の発売時から商品として寿命を終えるまでの一生の間に、顧客がその製品を購入する意欲の強さは大きい状態から小さい状態に変化する。そのため、この間に、収益が高い生産販売方式は、MTO 型から MTS 型に転移する。生産販売方式の両極である MTO 型と MTS 型を表現するために本質的である在庫費用比と顧客の歩留り率の二量をパラメータとして用い、MTO 型と MTS 型を包含する広範な生産販売方式における生産販売利益を表す数理モデルを提示し、その数式を用いて、一つの製品の商品としての一生の間に、生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移する機構を解明する。

キーワード： Make-to-Order 型から Make-to-Stock 型への転移、生産販売方式、顧客の歩留り率

## 1 はじめに

製品の生産販売方式は、Make-to-Order 型 (MTO) と Make-to-Stock 型 (MTS) に大別される。新製品が市場に導入された後、評判を得て次第に市場に広まり、需要が高まる。多数の企業がその製品の生産に乗り出して、その製品が市場に行き渡ると、次第に新鮮さを失い、需要が小さくなる。一つの製品の発売時から商品として寿命を終えるまでの一生の間に、顧客がその製品を購入する要望の強さは大きい状態から小さい状態に変化する。生産販売する企業が高い収益を求め続けると、生産販売方式は、この間に、MTO 型から MTS 型に転移する傾向がある。たとえば、パソコンメーカーのデル社はユーザーへ受注生産・直接販売するサプライチェーンを構築して、パソコン市場を席巻していたが、デルモデルは次第に市場競争力を失い、同社は現に、小売店販売にも手を広げることにより、活路を求めている [1]。

生産販売方式を MTO 型にするか MTS 型にするかの選択は、顧客が許容する納入リードタイムと企業が要する製造リードタイムの大小関係と、製品の在庫を予め用意することのメリットとデメリットとの間のトレードオフの関係により決められる。本論文においては、生産販売利益の数理モデルを設定して、利益を最大にする条件のもとに生産販売方式を決定する方法によって、このトレードオフの問題を解く。製品の在庫を用意することのデメリットを在庫費用の額で表現し、また、顧客の許容納入リードタイムと企業の所要

製造リードタイムの大小の度合いを顧客の歩留り率という数量で表現する。許容納入リードタイムは顧客の一人ひとりが製品に対して抱く購入意欲の強さにより異なる。そのため、企業が要する製造リードタイムの間製品の納入を待つことができる顧客の割合、すなわち、許容納入リードタイムが所要製造リードタイムよりも長い顧客の割合を歩留り率と表現する。顧客の歩留り率と在庫費用との間のトレードオフの関係を数量化し、これらの二量をパラメータとして導入して、生産販売利益の数理モデルを設定する。歩留り率は、製品を購入する目的で販売店を訪れた顧客のうち、所要製造リードタイムの間製品の納入を待つことができ、製品の購入を予約する顧客の割合であり、販売店が把握することができる。

新製品が発売された後、時間を経るにしたがい、製品に対する新鮮さが失われ、また、他の企業がその製品の生産販売に参入する。そのため、顧客が許容する納入リードタイムは次第に短くなる。つまり、企業が要する製造リードタイムの間製品の納入を待てない顧客が多くなり、顧客の歩留り率が減少してゆく。本論文においては、生産販売利益を最大にする条件のもとに、生産販売方式を決定して、時間の経過とともに顧客の歩留り率が減少するため、利益を最大にする生産販売方式が MTO 型から MTS 型に転移することを示す。

本研究の新規性は、顧客の歩留り率と在庫費用というトレードオフの関係にある二量を導入して、MTO 型と MTS 型を包含する広範囲の生産販売方式に適応する数理モデルを設定して、そのモデルを用いて、生産企業と販売店が成す企業グループの利益を最大にする生産販売方式の時間的変化を解明していることである。時間の経過とともに、顧客の歩留り率が減少したときに、生産販売方式を MTO 型から MTS 型へ転移

<sup>1</sup> 城西大学経営学部

<sup>2</sup> 愛知学院大学経営学部

受付：2009 年 9 月 15 日、再受付 (1 回)

受理：2010 年 5 月 24 日

しないと、歩留り率が大きかった当時の生産販売利益を維持できなくなる。また、MTO 型から MTS 型へ転移することが必要になる事態は急激に現れ、しかも、極短時間に、無在庫の MTO 型から、需要のほぼ全量に相当する製品量を在庫して販売する MTS 型へ生産販売方式を転じなければならない。前論文 [2],[3] において、生産販売利益の数理モデルを設定した。その上で、本論文において、企業が、生産販売利益の最大化を追求すると、時間の経過とともに、適切な生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移することを示し、その転移の特徴を解明する。

MTO 型の生産販売方式では、顧客から受注した後、需要量相当分の製品を組み立て、生産する。この方式の生産販売利益を数理解析するには、受注後、製品を生産し納品するまでの間、顧客が製品を購入する意志を持続する歩留り率を考慮することが重要である。つまり、MTO 型の成否は顧客の歩留り率の高低に強く依存する。一方、MTS 型の生産販売方式では、製品の需要量相当分を前もって生産し、在庫して、販売する。この方式の生産販売収益は在庫費用に依存する。つまり、MTS 型の成否は在庫費用の大小に強く依存する。このため、MTO 型と MTS 型の二つの生産販売方式を統合して数理解析するには、在庫費用と顧客の歩留り率の二量をパラメータとして導入することが本質的であり、欠かすことができない。

本研究において、生産販売方式の両極である MTO 型と MTS 型を表現するために本質的である在庫費用比と顧客の歩留り率の二量をパラメータとして用い、単位期間における製品の需要量が揺らいで確率分布をすることを前提にして、MTO 型と MTS 型を包含する広範な生産販売方式における生産販売利益を表す数理モデルを提示する。単位製品あたりの粗利益 (= 売値 - 生産費) と在庫費用、および、顧客の歩留り率が与えられると、生産販売利益を定式化できる。その数式を用いて、一つの製品の商品としての一生の間に、収益が高い生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する機構を解明する。実際に在庫費用比と顧客の歩留り率の二量をパラメータとして用いて構成した生産販売方式の数理モデルが MTO 型と MTS 型の両生産販売方式やこの両極の方式を包含する範囲内の生産販売方式の特徴をよく表現することを前論文 [2], [3] において示した。

## 2 生産販売方式の Make-to-Order 型から Make-to-Stock 型への転移

1) 単位期間あたりの需要量が確定していて既知である場合

本論に入る前に、論点の理解を図るために、まず問題設定を単純化して、単位期間あたりの需要量  $d$  が確定していて既知である場合について、生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移する問題を扱う。単位製品あたりの粗利益 (= 売値 - 生産費) を  $m$  とする。

MTO 型の生産販売方式では、顧客から受注した後に、生産工場で製品を生産する。単位期間あたりの需要量  $d$  が確定している場合、受注後に、生産して、納品するまでの間製品を待つ需要量の歩留り分が販売量になる。需要量の歩留り率を  $y$  とする。単位期間あたりの需要量  $d$  が確定していて既知である場合には、MTO 型の生産販売利益は

$$P_{MTO} = mdy \quad (1)$$

である。

MTS 型の生産販売方式では、製品を生産し、在庫しておいて、顧客が製品を求めるときに、販売する。単位期間あたりの需要量  $d$  が確定していて既知であれば、その分の製品を生産し、在庫しておき、販売すればよい。単位製品あたりの在庫費用を  $c$  とすると、MTS 型の生産販売利益は

$$P_{MTS} = (m - c)d \quad (2)$$

になる。

MTO 型と MTS 型のいずれの生産販売方式の利益がより大きくなるかを調べるために、両生産販売方式の生産販売利益の差を求めると、

$$P_{MTO} - P_{MTS} = (y - 1 + \frac{c}{m})md \quad (3)$$

になる。上式において、 $md > 0$  であるから、

$$y - 1 + \frac{c}{m} > 0 \quad (4)$$

であれば、 $P_{MTO} - P_{MTS} > 0$  となり、MTO 型の生産販売方式の方が収益大になる。一方、

$$y - 1 + \frac{c}{m} < 0 \quad (5)$$

であれば、MTS 型の生産販売方式の方が収益大になる。

以上の数式から判るように、需要量の歩留り率  $y$  が 1 に近い大きい状態であるときには、MTO 型の方式が収益大であり、歩留り率  $y$  が 0 に近い小さい状態であるときには、MTS 型の方式が収益大になる。したがって、製品が市場において普及するにともない、需要量の歩留り率  $y$  が 1 に近い大きい状態から、0 に近

い小さい状態に変化すると、その間に、収益が最大である生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が臨界値

$$y = 1 - \frac{c}{m} \quad (6)$$

になるときに、転移が起きる。

2) 単位期間あたりの需要量が揺らぎ変動をする場合  
通常、単位期間あたりの需要量は、揺らいでおり、確定して既知であることはない。本小節においては、単位期間あたりの需要量が揺らぎ変動をし、確率分布をする場合について、生産販売方式の転移の問題を扱う。

説明を簡潔にするために、この製品を扱うのは一販売店だけであり、販売店は各単位期間に製品を一定量  $I$  だけ在庫して、販売を開始するとする。単位期間ごとに需要量  $d$  は確率分布をするため、需要量  $d$  が在庫量  $I$  を超過して、在庫量が足りなくなることがある。製品の在庫が足りない場合には、販売店は生産工場に製品の追加供給を要請する。追加補充するためには時間がかかるので、販売店は顧客に、その製品を追加補充するために要するリードタイムの間製品の購入を待ってもらえるかを尋ねる。その間顧客が購入の意志を持続する歩留り率が  $y$  である。

単位期間における需要量  $d$  は揺らぎ変動をし、その確率分布関数が  $f(d)$  であるとする。分布関数  $f(d)$  は

$$\sum_{d=0}^{\infty} f(d) = 1, \quad (7)$$

$$\sum_{d=0}^{\infty} df(d) = N_d \quad (8)$$

を満たす。ただし、 $N_d$  は単位期間あたりの需要量  $d$  の平均値である。

販売店が単位期間にこの製品を販売する量  $S$  は、需要量  $d$  に依存して、

$$S(d) = \begin{cases} d, & d < I, \\ I + (d - I)y, & d > I \end{cases} \quad (9)$$

になる。単位期間における需要量  $d$  が確率分布をするため、その期間に販売される製品の生産販売利益も確率分布をする。生産販売利益の期待値  $P$  は、販売店が製品を在庫する量  $I$  の関数になり、

$$\begin{aligned} P(I) &= m \sum_{d=0}^{\infty} S(d)f(d) - cI \\ &= m\{N_d - (1 - y) \sum_{d=I}^{\infty} (d - I)f(d)\} - cI \end{aligned} \quad (10)$$

になる。

生産販売利益の期待値  $P(I)$  を最大にする在庫量  $I = I_0$  を求める。そのために、在庫量を  $I - 1$  から  $I$  に 1 だけ増加した場合の生産販売利益の増加量  $\Delta P(I)$  を求めると、

$$\begin{aligned} \Delta P(I) &= P(I) - P(I - 1) \\ &= m(1 - y) \sum_{d=I}^{\infty} f(d) - c \\ &= -m(y - 1 + \frac{c}{m}) - m(1 - y) \sum_{d=0}^{I-1} f(d) \end{aligned} \quad (11)$$

になる。

1)  $y > 1 - \frac{c}{m}$  である場合

この場合には、 $\Delta P(I) < 0$  であり、生産販売利益の期待値  $P(I)$  は、在庫量  $I$  の減少関数であるから、 $I = I_0 = 0$  であるときに最大になる。つまり、製品を在庫せずに生産販売する MTO 型であると、生産販売利益が最大になる。生産販売利益の期待値  $P(I)$  を最大にする在庫量  $I = I_0 = 0$  を生産販売利益の期待値  $P(I)$  (10) 式へ代入すると、最大生産販売利益は

$$P(I_0 = 0) = myN_d \quad (12)$$

になる [2]。

2)  $y < 1 - \frac{c}{m}$  である場合

この場合には、(11) 式において、 $\Delta P(I_0) = 0$  になる在庫量  $I_0 (> 0)$  が存在し、生産販売利益の期待値  $P(I)$  は在庫量  $I = I_0$  であるとき最大になる。つまり、MTS 型の生産販売方式を採用し、製品を  $I = I_0$  だけ在庫して販売すると、生産販売利益が最大になる。最適在庫量  $I_0$  は

$$\Delta P(I_0) = m(1 - y) \sum_{d=I_0}^{\infty} f(d) - c = 0 \quad (13)$$

により求まる。上式により求められる最適在庫量  $I = I_0$  を  $P(I)$  (10) 式に代入すると、最大生産販売利益は

$$P(I_0) = mN_d - c \frac{\sum_{d=I_0}^{\infty} df(d)}{\sum_{d=I_0}^{\infty} f(d)} \quad (14)$$

になる<sup>1</sup> [2]。

<sup>1</sup>前論文 [3] において、在庫性向を  $T = m(1 - \frac{c}{m} - y)$  と定義して、在庫性向  $T > 0$  である場合には、MTS 型生産販売方式が収益を大にするが、 $T < 0$  である場合には、MTO 型生産販売方式が収益を大にすることを示した。上述の  $y > 1 - \frac{c}{m}$  である場合は在庫性向  $T < 0$  に相当し、 $y < 1 - \frac{c}{m}$  である場合は在庫性向  $T > 0$  に相当する。

以上のように、単位期間あたりの需要量が揺らいで、確率分布をするときにも、前小節で扱った需要量が確定して既知である場合と同じく、需要量の歩留り率  $y$  が 1 に近い大きい状態であるときには、MTO 型の方式が収益大であり、歩留り率  $y$  が 0 に近い小さい状態であるときには、MTS 型の方式が収益大になる。製品が市場において普及するにともない、需要量の歩留り率  $y$  が 1 に近い大きい状態から、0 に近い小さい状態に変化する間に、収益が最大である生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が臨界値

$$y = 1 - \frac{c}{m} \quad (15)$$

になるときに、転移が起きる。

### 3 単位期間あたりの需要量が確率二項分布をする場合

本節において、単位期間あたりの需要量  $d$  が確率二項分布をする場合を例として扱い、以上の各式を数値計算して、その結果を示す。販売店の顧客数が  $N$  人であり、各顧客は、単位期間にこの製品を最大で 1 単位購入し、単位期間に製品を購入する確率を  $p$ 、購入しない確率を  $q$ 、すなわち、 $p + q = 1$  であるとする。この場合、単位期間における需要量  $d$  は確率二項分布をして、その確率分布関数は

$$f(d) = {}_N C_d p^d q^{N-d} \quad (16)$$

である [4],[5]。ただし、 ${}_N C_d$  は組み合わせ数である。二項分布は

$$\sum_{d=0}^N f(d) = 1, \quad (17)$$

$$\sum_{d=0}^N df(d) = pN = N_d \quad (18)$$

を満たす。

図 1 に、 $p = 0.2, q = 0.8, N = 100$ 、すなわち、単位期間あたりの需要量の期待値が一定値  $N_d = pN = 20$  である場合について、在庫費用比が  $0 < \frac{c}{m} < 1$  で、追加補充時の顧客の歩留り率が  $0 < y < 1$  である変域内の各点において生産販売利益  $P(I)$  を最大にする在庫量  $I_0$  ((13) 式参照) を等高線でもって図示する。 $y > 1 - \frac{c}{m}$  である変域内においては全変域で最適在庫量  $I_0 = 0$  であり、MTO 型が収益大になる。また、 $y < 1 - \frac{c}{m}$  である変域内では、点  $(\frac{c}{m}, y) = (0, 1)$  を通る直線上で最適在庫量  $I_0 = \text{一定} > 0$  になり、MTS

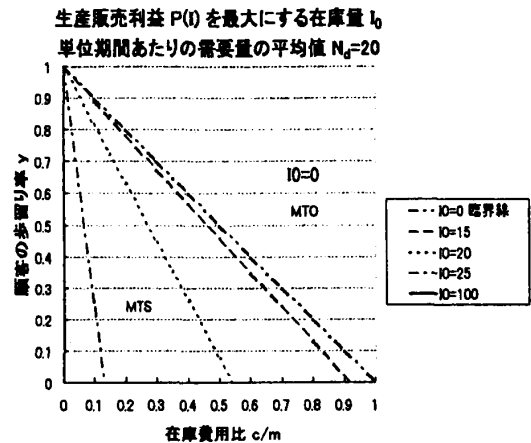


図 1 単位期間あたりの需要量の平均値  $N_d = 20$  の場合の生産販売利益  $P(I)$  を最大にする在庫量  $I_0$ 。横軸が在庫費用比  $\frac{c}{m}$  で、縦軸が顧客の歩留り率  $y$  である平面上の各点における最適在庫量  $I_0$  を示す。直線  $\frac{c}{m} = 0$  上では  $I_0 = N = 100$  である。

型が収益大になる。図は、歩留り率  $y = 1$  である直線上では最適在庫量  $I_0 = 0$  となり、典型的な MTO 型の生産販売方式になり、在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0$  である直線上では最適在庫量  $I_0 = N = 100$  となり、典型的な MTS 型の生産販売方式になることを示す。

図 2 に、単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d = 20$  の場合について、図 1 と同じ変域内の各点における最大生産販売利益  $P(I_0)$  を等高線でもって示す。典型的な MTO 型の生産販売方式を表す直線  $y = 1$  上と典型的な MTS 型の生産販売方式を表す直線  $\frac{c}{m} = 0$  上で、最大生産販売利益  $P(I_0)$  は等しく、全変域内における最大の最大生産販売利益  $P(I_0) = mN_d = 20m$  になる。点  $(\frac{c}{m}, y) = (1, 0)$  では、最大生産販売利益  $P(I_0) = 0$  である。単位期間あたりの需要量の期待値が  $N_d = 20$  で、また、在庫費用比が  $\frac{c}{m} = 0.3$  で、ともに一定であるまま、顧客の歩留り率が 1 から 0 に減少する場合を想定して、直線  $\frac{c}{m} = 0.3$  を図示した。直線  $\frac{c}{m} = 0.3$  に沿って顧客の歩留り率  $y$  が 1 から 0 に減少すると、前節において述べたように、顧客の歩留り率  $y$  が 1 に近い大きな値である期間には、MTO 型の方式が収益大であるが、顧客の歩留り率  $y$  が 0 に近い小さな値になる期間には、MTS 型の方式が収益大になる。顧客の歩留り率  $y = 0.7$  のときに、生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移する。

図 3 に、在庫費用比が  $\frac{c}{m} = 0.3$  である場合について、横軸を顧客の歩留り率  $y$ 、縦軸を需要量の期待値  $N_d = pN$  として、各点における最大生産販売利益  $P(I_0)$  を等高線でもって示した。在庫費用比が  $\frac{c}{m} = 0.3$  である場合には、顧客の歩留り率が  $y = 0.7$  になると

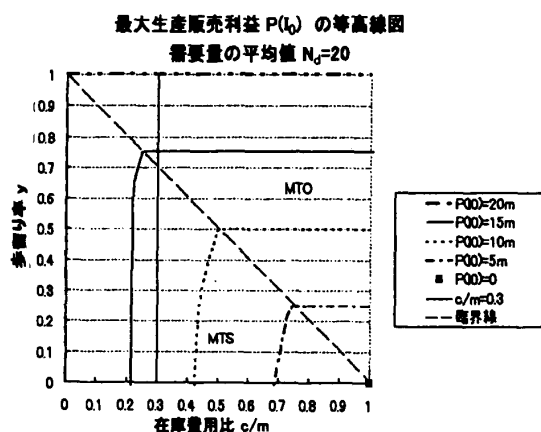


図2 単位期間あたりの需要量の平均値  $N_d = 20$  の場合の、横軸が在庫費用比  $\frac{c}{m}$  で、縦軸が顧客の歩留り率  $y$  である平面上の最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線図。直線  $\frac{c}{m} = 0$  上では  $P(I_0) = mN_d = 20m$  である。在庫費用比が一定値  $\frac{c}{m} = 0.3$  であるまま、顧客の歩留り率が1から0に減少すると、顧客の歩留り率が  $y = 0.7$  であるときに、生産販売利益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型に移転する。

き、MTO 型から MTS 型への転移が起きる。顧客の歩留り率の臨界値  $y = 0.7$  を境にして、最大生産販売利益  $P(I_0)$  の関数性が変化することにより、最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線が折れ曲がる。顧客の歩留り率  $y$  が臨界値 0.7 より小さくなくても、生産販売方式を MTO 型から MTS 型へ転移させずに、MTO 型を維持した場合の最大生産販売利益  $P(I_0 = 0)$  の等高線を細線で示した。MTO 型を維持し続けると、顧客の歩留り率  $y$  が小さくなるとともに、需要量  $N_d$  が増大しない限り、同一水準の最大生産販売利益  $P(I_0)$  を保つことができないが、MTS 型に移転すれば、需要量  $N_d$  が同程度のままであっても、同一水準の最大生産販売利益  $P(I_0)$  を維持できることが判る。

顧客の歩留り率  $y$  は、新製品の発売時から、その製品が商品として一生を終えるまでの間に、徐々に減少する。顧客の歩留り率  $y$  は時間とともにほぼ一定の割合で減少し、一方、単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d$  は時間とともに正規関数的に変化すると考えると、顧客の歩留り率  $y$  と単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d$  の時系列推移は、図4のように図示される。

図3に図4を重ねて、在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  の場合の需要量  $N_d$  の時系列推移に最大生産販売利益  $P(I_0)$  を対応させると、図5を得る。需要量  $N_d$  の時系列推移を表す正規関数曲線が最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線と交わる点ごとの最大生産販売利益  $P(I_0)$  の値の変化から、顧客の歩留り率  $y$  が減少するにともない、

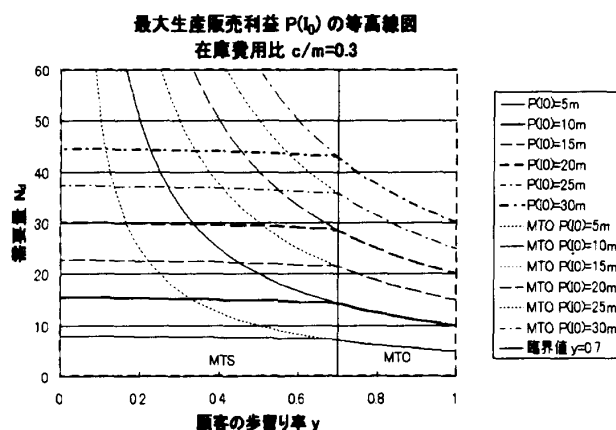


図3 在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  の場合の、横軸が顧客の歩留り率  $y$  で、縦軸が単位期間あたりの需要量の平均値  $N_d$  である平面上の最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線図。顧客の歩留り率  $y = 0.7$  において、収益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。

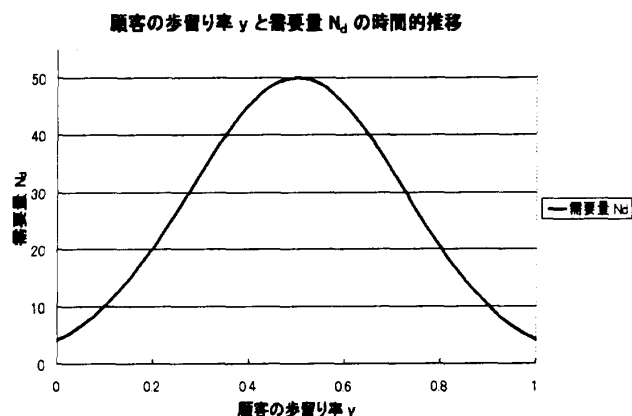


図4 顧客の歩留り率  $y$  と需要量  $N_d$  の時間的推移。時間の経過とともに、顧客の歩留り率  $y$  と需要量  $N_d$  を表す点が曲線の右端から左端に向けて曲線に沿って推移する。

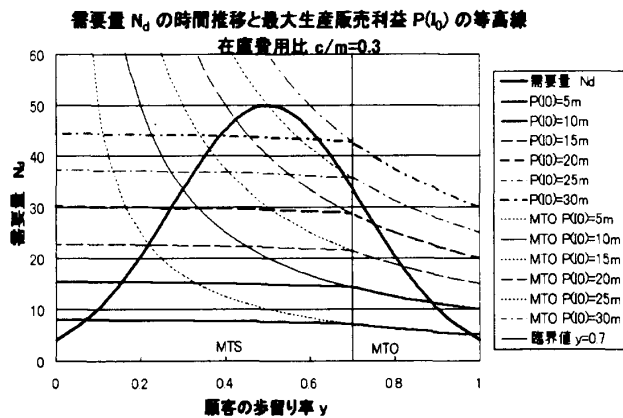


図5 横軸が顧客の歩留り率  $y$  で、縦軸が単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d$  である平面上に、需要量  $N_d$  の時間的推移と在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  の場合の最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線を示す。顧客の歩留り率が  $y = 0.7$  において、収益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。

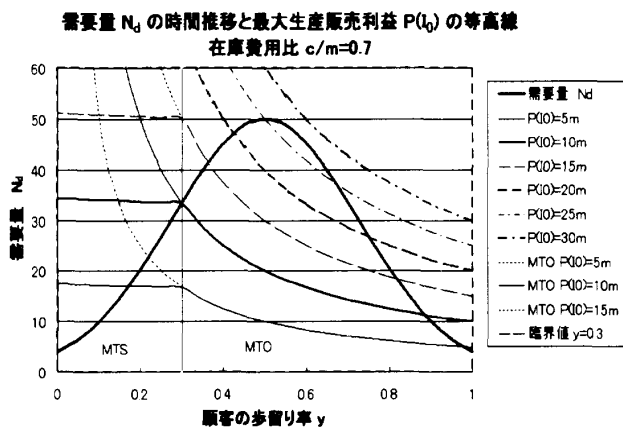


図6 横軸が顧客の歩留り率  $y$  で、縦軸が単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d$  である平面上に、需要量  $N_d$  の時間的推移と在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.7$  の場合の最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線を示す。顧客の歩留り率が  $y = 0.3$  において、収益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。

需要量  $N_d$  が時系列推移をするにつれて、最大生産販売利益  $P(I_0)$  が変化する様子が判る。

図5と同様に図6に、在庫費用比が  $\frac{c}{m} = 0.7$  である場合について、需要量  $N_d$  の時系列推移と最大生産販売利益  $P(I_0)$  の等高線を示した。この場合には、顧客の歩留り率が  $y = 0.3$  であるときに、MTO 型から MTS 型へ転移する。

図7に、在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  で、単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d = pN = 100p$  が 30, 25, 20, 15, 10 と 5 である場合について、最適在庫量  $I_0$  を図

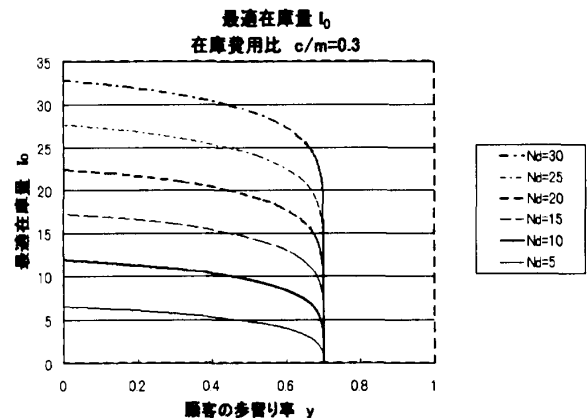


図7 在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  で、需要量の期待値  $N_d$  が定まる場合について、最適在庫量  $I_0$  を顧客の歩留り率  $y$  の関数として示す。顧客の歩留り率が  $y = 0.7$  であるときに、収益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が  $y < 0.7$  になると、最適在庫量  $I_0$  は 0 から急激に増大する。

示した。この場合には、新製品の発売後に顧客の歩留り率  $y$  が減少し、 $y = 0.7$  になるときに最大利益の生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が  $y < 0.7$  になると、MTS 型へ転移するため、最適在庫量  $I_0$  は 0 から急激に増大する。(13)式において、和  $\sum_{d=0}^{N_d} f(d)$  はほぼ 0.5 である。このため、顧客の歩留り率が  $y = 1 - \frac{2c}{m}$  であるときに、最適在庫量はほぼ常識的な値  $I_0 = N_d$  になる。したがって、在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.3$  である場合には、顧客の歩留り率が  $y < 0.4$  になると、最適在庫量  $I_0$  は需要量の期待値  $N_d$  よりも大きくなり、多めに在庫して置く必要が生じる。

図8に、在庫費用比  $\frac{c}{m} = 0.7$  で、単位期間あたりの需要量の期待値  $N_d = pN = 100p$  が 30, 25, 20, 15, 10 と 5 である場合について、最適在庫量  $I_0$  を図示した。この場合には、新製品の発売後に顧客の歩留り率  $y$  が減少し、 $y = 0.3$  になるときに最大利益の生産販売方式が MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が  $y < 0.3$  になると、MTS 型へ転移するため、最適在庫量  $I_0$  は 0 から急激に増大する。しかし、在庫費用比が  $\frac{c}{m} > 0.5$  である場合には、最適在庫量  $I_0$  は常に需要量の期待値  $N_d$  よりも小さく、 $N_d$  よりも大きくなることはない。多めに在庫する必要はない。

#### 4 モデルの拡張

以上においては、販売店が製品を在庫し販売するための在庫費用  $c$  と在庫量が不足した場合に製品を追加

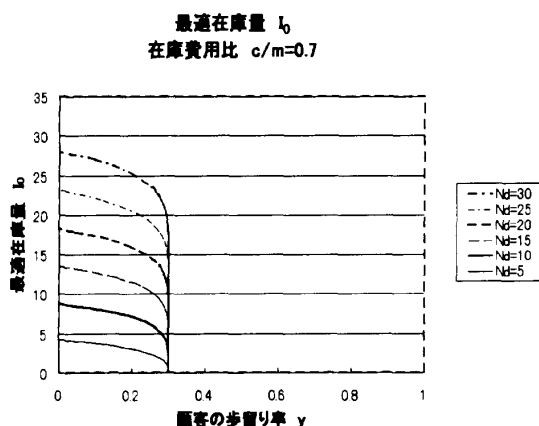


図8 在庫費用比が  $\frac{c}{m} = 0.7$  で、需要量の期待値  $N_d$  が定まる場合について、最適在庫量  $I_0$  を顧客の歩留り率  $y$  の関数として示す。顧客の歩留り率が  $y = 0.3$  であるときに、収益を最大にする生産販売方式は MTO 型から MTS 型へ転移する。顧客の歩留り率が  $y < 0.3$  になると、最適在庫量  $I_0$  は 0 から急激に増大する。

補充生産する間の顧客の歩留り率  $y$  の二定量をパラメータとして生産販売利益、 $P(I)$  (10) 式を定式化した。前論文において、売れ残った製品を次単位期間に販売するために保管するときの在庫費用  $c_2$  と在庫品が不足する場合に製品を追加補充生産する際に余計に必要な生産費用  $s$  の二定量を新たに考慮して計四定量をパラメータにする生産販売利益の式を示した [3]。すなわち、販売店は単位期間ごとに製品を前期間の売れ残り分と生産工場からの新規入荷分の計  $I$  単位だけ準備在庫して販売する。販売準備するために製品を在庫する場合の単位製品あたりの在庫費用は  $c_1$  であり、次期間に販売するために売れ残り製品を在庫する場合の単位製品あたりの在庫費用は  $c_2$  である。また、単位期間中の製品の需要量  $d$  は確率分布し、需要量  $d$  が在庫量  $I$  を上回って、在庫量が不足する単位期間には、販売店は生産工場に製品の不足分を追加補充生産するように要請する。追加補充する製品については、生産費用が  $s$  だけ余分にかかり、追加補充する間顧客が製品を購入する意志を持続する歩留り率が  $y$  である [6]。販売店は顧客の歩留り分だけ製品を追加補充する。以上四種類の費用等  $c_1, c_2, s$  と  $y$  をパラメータとして扱い、生産販売利益を定式化すると、単位期間における生産販売利益の期待値は

$$P(I) = \sum_{d=0}^{I-1} \{mS(d) - c_2(I-d)\}f(d) + \sum_{d=I}^{\infty} \{mS(d) - s(d-I)y\}f(d) - c_1I$$

$$= (m + c_2)[N_d - \{1 - \frac{(m-s)y}{m+c_2}\} \sum_{d=I}^{\infty} (d-I)f(d)] - (c_1 + c_2)I \quad (19)$$

になる。文字を置き換えて、

$$M = m + c_2, \quad (20)$$

$$Y = \frac{(m-s)y}{m+c_2}, \quad (21)$$

$$C = c_1 + c_2 \quad (22)$$

とすると、生産販売利益の期待値は

$$P(I) = M\{N_d - (1-Y) \sum_{d=I}^{\infty} (d-I)f(d)\} - CI \quad (23)$$

になり、この場合にも、生産販売利益の表式は、拡張した意味の単位製品あたりの粗利益  $M$ 、在庫費用  $C$  と顧客の歩留り率  $Y$  の三つの量の式にまとまり、やはり、(10) 式と同じ形になる。したがって、第2節と同様な解析をすると、製品の商品としての一生の間、パラメータ  $M$  と  $C$  が一定であるとする、拡張した顧客の歩留り率  $Y$  が減少して、 $Y = 1 - \frac{C}{M}$  になるときに、最大収益の生産販売方式が MTO 型から MTS 型に転移することが判る。また、 $m, c_1, c_2, s$  が一定であるとする、顧客の歩留り率  $y$  が減少して、

$$y = \frac{m+c_2}{m-s} \left(1 - \frac{c_1+c_2}{m+c_2}\right) = \frac{m-c_1}{m-s} \quad (24)$$

になるときに、最大収益の生産販売方式が MTO 型から MTS 型に転移する。ただし、 $c_1 > s$  であるとする。

生産販売利益には、以上で考慮しなかった費用も寄与する。たとえば、1) 売れ残って在庫しておいた商品が、陳腐化したり、消費期限が過ぎたため売れなくなったりするためのコストや 2) 在庫量が不足した場合に商品を追加補充生産する間顧客に製品を待ってもらうために販売価格を値下げしたりあるいは追加料金を請求したりするコストなどがあるが、1) のコストは商品が売れ残ったときに次期間に販売するために在庫しておく在庫費用  $c_2$  に、そして、2) のコストは追加補充生産をする際にそのために余計に必要な生産費用  $s$  に取り込むことができる。したがって、これらのコストを考慮しても、生産販売利益は (10) 式と同じ形で表される。ただ、単位製品あたりの粗利益  $m$ 、在庫費用  $c$  と顧客の歩留り率  $y$  の数値が修正されるだけ



である。以上のように、本論文において定式化した生産販売利益の表式や生産販売方式の転移の議論は極めて一般的である。

## 5 ま と め

本研究において、トレードオフの関係にあって、生産販売利益を決定する二つの本質的である要因、すなわち、顧客の歩留り率と在庫費用を導入して、MTO型とMTS型を包含する広範囲の生産販売方式に適用する数理モデルを設定した。その数式を用いて、一つの製品の商品としての一生の間に、顧客の歩留り率が減少すると、最大収益の生産販売方式がMTO型からMTS型へ転移する機構を解明した。

前節において論じたように、本論文の顧客の歩留り率と在庫費用の二量は、それを表す語句以上にMTO型とMTS型を包含する広範囲の生産販売方式を数理的に記述するために必要な多くの概念を内包して表す。顧客の歩留り率は顧客の歩留りや需要の急増により追加生産するために必要な費用などを含む一般化した概念を、また、在庫費用は製品を在庫して置いたために生じる製品の陳腐化のコストなどを含む一般化した概念を表現する。製品が市場に現れた後、時間が経過するとともに、MTO型とMTS型のいずれの生産販売方式を選択するかを決めトレードオフの関係にある二量のうちの一つの量、すなわち、広義の顧客の歩留り率が減少する。また、(10)式から判るように、顧客の歩留り率は在庫のデメリットとして働く。したがって、本論文が主張するところは、顧客の歩留り率が減少したとき、在庫のデメリットが縮小するため、在庫のメリットとデメリットが均衡する状態が変化して、利益を最大にする生産販売方式がMTO型からMTS型へ転移するということである。デル社の生産販売方式がMTO型からMTS型へ転移したことも、顧客の歩留り率の減少とともに、このように在庫のメリットとデメリットが均衡する状態が変化して生じていると解釈できる。

図2から明らかなように、在庫コストが大きく在庫費用比が1に近い（傷みやすいものや陳腐化しやすいものなどを含む）製品については、MTO型からMTS型へ転位する顧客の歩留り率の臨界値がほぼ零に近い。ため、利益を最大にする生産販売方式はMTO型を維持し、時間の経過とともに、MTS型へ転移することはほとんどなく、市場における商品としての一生を終えることになる。また、在庫コストが小さく在庫費用比が零に近い（小品であり傷みにくいものなどを含む）製品については顧客の歩留り率の臨界値が1に近い

め、利益を最大にする生産販売方式はMTO型をほとんど経ずに、MTS型で終始する。在庫費用比が0から1の間にある製品については、時間の経過とともに、許容納入リードタイムと所要製造リードタイムの大小関係が変化することにより、MTO型からMTS型への転移が起きる。

製品を市場に導入した直後には、需要が不確実であるため、売り逃しを極力回避する目的でMTS型方式で対応して生産販売を開始した後、生産販売が安定したときに、MTO型へ生産販売方式を変更する企業の事例がある。この場合の初期の段階は、不確実な需要に対する安全策として、必要以上の在庫を用意して置く暫定的に選択された生産販売方式である。これはマーケットシェアの獲得を目的としており、生産販売利益を最大にすることは念頭に置かれていない。このように企業が、安全策として在庫方式を選択して、MTS型で生産販売を開始した後、生産販売利益を重視するようになり、MTS型からMTO型に変更しても、生産販売利益の最大化を追求する限り、本論文で扱っているように、最終的に顧客の歩留り率が減少したときに、MTO型からMTS型に再び戻ることが予想される。

本論文において指摘していることは企業の実務者にとって大変に重要なことであると考えられる。生産企業と販売店が成す企業グループは、本論文中に述べているように、時間の経過とともに顧客の歩留り率が減少したときに、生産販売方式をMTO型からMTS型へ転移しないと、歩留り率が大きかった当時の生産販売利益を維持できなくなる。また、図7と8から明らかなように、MTO型からMTS型への転移が必要になる事態は急激に現れ、しかも、その時点で極短時間に、無在庫のMTO型から、需要のほぼ全量に相当する製品量を在庫して販売するMTS型の生産販売方式に転じなければならない。このように極短時間に生産販売方式を大規模に変更して初めて、利益を維持することができる。

本研究は文部科学省科学研究費補助金（No. 17330089）による研究の一環として行われた。共同研究者である大島卓教授と張紀濤教授から得た意見交換を感謝する。

## 参 考 文 献

- [1] スミチレビ,D.: “SCM の勝ちパターンは変わった”, 月刊 ロジスティック・ビジネス ライノス・パブリケーションズ, 8月号, pp. 4-5 (2008)
- [2] 香村俊武, 福島和伸, 木内正光: “利益最大化のため

- の生産販売方式の研究 — Mate-to-Order 方式か Make-to-Stock 方式か —”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 58, No. 3, pp. 173-181 (2007)
- [3] 香村俊武, 福島和伸, 木内正光: “Make-to-Order 型 Make-to-Stock 型を包含する生産販売方式における製品の在庫性向”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 59, No. 3, pp. 222-230 (2008)
- [4] 宮川公男: 「基本統計学」, 有斐閣 (1991)
- [5] 木下宗七編: 「入門統計学」, 有斐閣 (1996)
- [6] 轟 炎, 増井忠幸, 後藤正幸: “サプライヤーと小売店の総合協力モデルに関する研究”, 平成 16 年度日本経営工学会 秋季研究大会予稿集, pp. 162-163 (2004)